

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 60 852.0

Anmeldetag: 23. Dezember 2002

Anmelder/Inhaber: ROBERT BOSCH GMBH, Stuttgart/DE

Bezeichnung: Verfahren zum Abgleichen des elektrischen Widerstands einer Widerstandsbahn

IPC: H 01 C 17/23

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 3. Dezember 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Letang

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

BEST AVAILABLE COPY

19.12.2002

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5

10 Verfahren zum Abgleichen des elektrischen Widerstands einer
Widerstandsbahn

Stand der Technik

15

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zum Abgleichen des elektrischen Widerstands einer zwischen zwei Schichten angeordneten, in Mäanderwindungen verlaufenden Widerstandsbahn auf einen Vorgabewert nach dem Oberbegriff
20 des Anspruchs 1.

25

Schichtverbunde mit eingebetteter Widerstandsbahn werden in verschiedenen Applikationen eingesetzt, so in Temperaturfühlern, z.B. zur Messung der Abgastemperatur in Brennkraftmaschinen, wie sie aus der DE 37 33 192 C1 bekannt sind, oder in Heizeinrichtungen zur Erhöhung der Meßgenauigkeit von Lambdasonden für die Messung der Sauerstoffkonzentration im Abgas einer Brennkraftmaschine, wie sie z.B. aus der DE 198 38 466 A1 oder DE 199 41 051 A1
30 bekannt sind. Bei solchen Temperaturfühlern ist es erforderlich, daß der meist hochohmige PTC-Widerstand der Widerstandsbahn, die zwischen Keramikfolien aus Aluminiumoxid

oder einem Festelektrolyt, wie Zirkoniumoxid, eingebettet ist, fertigungsbedingt in einem extrem kleinen Toleranzbereich liegt, um in der Serie immer eine möglichst genaue Temperaturmessung sicherzustellen. Bei

5 Heizeinrichtungen für Lambdasonden erfordert eine ausreichende Meßgenauigkeit eine Regelung der Heizeinrichtung, um die Betriebstemperatur der Lambdasonde konstant zu halten. Auch hierfür ist es notwendig, daß der meist niederohmige Widerstand der Widerstandsbahn sich
10 fertigungsbedingt in einem engen Toleranzbereich bewegt, um eine Über- bzw. Untersteuerung der Heizeinrichtung zu vermeiden.

In beiden Fällen ist daher ein nachträglicher Abgleich des
15 Widerstandswerts der Widerstandsbahn, also ein Abgleichen, Trimmen oder Kalibrieren nach Fertigstellung des Schichtverbundes mit einliegender Widerstandsbahn, durch geeignete Maßnahmen erforderlich.

20 Bei einem bekannten Verfahren zum Abgleichen des Widerstands einer in einem Schichtverbund eines Meßfühlers eingebetteten Widerstandsbahn auf einen Vorgabewert (DE 198 51 966 A1) wird in einer der die Widerstandsbahn überziehenden Schichten eine Aussparung freigelassen, durch die hindurch die Behandlung
25 der Widerstandsbahn zum Abgleich von deren Innenwiderstand vorgenommen wird. Die Widerstandsbahn weist im Bereich der Aussparung Verzweigungen und/oder geschlossene Flächen, sog. Brennstrecken, auf, und der Abgleich wird dadurch
30 vorgenommen, daß die Verzweigungen und/oder geschlossenen Flächen, z.B. mittels eines Lasers, aufgetrennt werden, wodurch sich der Widerstand der Widerstandsbahn erhöht. Dies wird solange fortgesetzt, bis der gewünschte Vorgabewert

erreicht ist. Der Widerstand wird über eine an die Widerstandsbahn angeschlossene Schaltungsanordnung fortlaufend gemessen. Bei Heizeinrichtungen, bei welcher die elektrische Widerstandsbahn noch von einer Isolierung umgeben wird, bevor sie mit den Schichten des Schichtverbundes belegt wird, wird entweder die Aussparung durch die Isolierung hindurch bis auf die Ebene der Widerstandsbahn hindurchgeführt oder aber die Isolierung so ausgestaltet, daß der Laser die Isolierung durchdringen kann.

10 In beiden Fällen wird nach dem Laserabgleich die Aussparung durch einen Füllstoff verschlossen, um die Widerstandsbahn vor mechanischen oder chemischen Einflüssen zu schützen. Als Füllstoff wird vorzugsweise eine Glaskeramik verwendet, die 15 nach dem Füllen durch thermische Einwirkung des Lasers verglast wird.

Vorteile der Erfindung

20 Das erfindungsgemäße Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 hat den Vorteil, daß zum Auftrennen der Brennstrecken zwecks Abgleichen oder Trimmen der Widerstandsbahn keine Öffnung in eine der die Widerstandsbahn abdeckenden Schichten erforderlich ist. Dies macht den 25 zusätzlichen Prozeßschritt zum Verschließen der Öffnung entbehrlich und vermeidet alle mit dem Verschließen zusammenhängende Nachteile beim Einsatz des Meßfühlers im Abgas von Brennkraftmaschinen infolge chemischer oder thermischer Degradation des Verschlußmaterials; denn 30 chemische Degradation kann infolge steigender elektrischer Leitfähigkeit des Verschlußmaterials zu parasitären Leckströmen und damit zu einer Abflachung der Kennlinie des

Sensorelements und thermische Degradation kann zum Ausfall des Sensorelements durch Zerrüttung des Verschlußmaterials führen. Das Auftrennen der Brennstrecke erfolgt durch energiekontrollierte Stromimpulse, die ein elektrisches

5 Verdampfen der aus dem gleichen Material wie die Widerstandsbahn gefertigten Brennstrecken bewirken, so daß bei geeigneter Abstufung der Widerstände der Mäanderwindungen oder -schleifen, z.B. einer binären Abstufung, der Widerstandswert der Widerstandsbahn schrittweise mit jedem
10 Auftrennen einer weiteren Brennstrecken erhöht werden kann. Durch die Energiekontrolle wird dabei das Aufbrennen der Widerstandsbahn selbst zuverlässig ausgeschlossen.

Durch die in den weiteren Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen
15 sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Anspruch 1 angegeben Verfahrens möglich.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden direkt an die Verbindungsstellen der Brennstrecken mit den
20 Mäanderwindungen Leiterbahnen geführt, und zum Auftrennen einer ausgewählten Brennstrecke wird der Stromimpuls auf die an die ausgewählte Brennstrecke führenden beiden Leiterbahnen aufgeschaltet. Vorteilhaft werden die Leiterbahnen zwischen den beiden zu der Widerstandsbahn führenden
25 Anschlußleiterbahnen angeordnet und wie letztere in den sog. kalten Bereich des Sensorelements, der nicht dem Meßgas oder Abgas ausgesetzt ist, geführt. Durch Kontaktierung der Leiterbahnen in diesem Bereich können die Stromimpulse an die ausgewählten Brennstrecken angelegt werden. Aufgrund der
30 hochohmigen Isolation der Leiterbahnen zur Führung der Stromimpulse bleibt die Beeinflussung der abzugleichenden, niederohmigen Widerstandsbahn durch parasitäre Leckströme

auch bei hohen Temperaturen gering, so daß die Leiterbahnen keinen die Kennlinie des Sensorelements negativ beeinflussenden Effekt haben. Aus diesem Grund kann die Werkstoffauswahl für die Leiterbahnen hinsichtlich hoher spezifischer Leitfähigkeit, kleinem Temperaturkoeffizienten und der damit verbundenen hohen Strombelastbarkeit, niedriger Kosten und Anpassung an die Sintertemperatur und Sinteratmosphäre des Sensorelements optimiert werden.

10 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden als Stromimpulse Konstantstromimpulse verwendet, deren Impulsdauer gesteuert wird. Dadurch läßt sich die für das Auftrennen einer Brennstrecke erforderliche Energie hochgenau einstellen, so daß die der Brennstrecke parallelgeschaltete Mäanderwicklung nicht beschädigt oder gar aufgebrannt wird.

20 Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird die Impulsdauer dadurch gesteuert, daß die an der ausgewählten Brennstrecke abfallende Spannung überwacht und bei Detektion eines überproportionalen Spannungsanstiegs der Stromimpuls abgeschaltet wird.

25 Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird die Brennstrecke tailliert ausgeführt, wodurch erreicht wird, daß die größte Leistungsumsetzung des Brennimpulses genau an der dünnsten Stelle der Brennstrecke erfolgt und dort das Material zum Aufschmelzen bringt. Da die der Brennstrecke parallelgeschaltete Mäanderwindung hochohmiger ist und durch die beidseitige Einbettung in eine elektrische Isolation eine bessere Wärmekopplung besitzt, wird bei dem Aufbrennen der Brennstrecke der Mäanderwiderstand durch den energiereichen Stromimpuls nicht angeschmolzen.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird das aufgeschmolzene Material der Brennstrecke in einem Hohlraum aufgenommen, der in einer der die Widerstandsbahnen überdeckenden beiden Schichten ausgebildet ist. Der Hohlraum wird bei der Herstellung des Sensorelements durch das Überdrucken der Brennstrecken mit kohlenstoffhaltiger Siebdruckpaste, die beim Sintern vollständig oxidiert und in die Gasphase übergeht, hergestellt.

Gemäß einer alternativen Ausführungsform der Erfindung wird eine der Brennstrecken mit einer von zwei Anschlußleiterbahnen verbunden, die an das Ende der Widerstandsbahn geführt sind. Zum Aufbrennen einer ausgewählten Brennstrecke wird die ausgewählte Brennstrecke erwärmt und der Stromimpuls auf die Anschlußleiterbahnen der Widerstandsbahn aufgeschaltet. Durch die lokale Erwärmung der ausgewählten Brennstrecke von außen, was vorzugsweise mittels eines Laserimpulses um 200°C vorgenommen wird, wird der spezifische Widerstand der Brennstrecke, z.B. um den Faktor zwei, erhöht. Im erwärmten Punkt wird an der schmalsten Stelle der Brennstrecke durch den in einem Teil der Widerstandsbahn und in der Brennstrecke fließenden Stromimpuls zusätzlich Energie eingebracht, die die lokale Erwärmung weiter verstärkt, wodurch eine weitere Erwärmung in Gang gesetzt wird, die zum Aufschmelzen der ausgewählten Brennstrecke führt. Das Aufschmelzen anderer Brennstrecken durch den Stromimpuls ist durch die fehlende lokale Erwärmung verhindert. Diese Ausgestaltung des Verfahrens hat den Vorteil, daß auf das Anbringen von zusätzlichen Leiterbahnen zu den einzelnen Brennstrecken verzichtet werden kann, was die Fertigungskosten senkt.

Gemäß einer abgewandelten Ausführungsform der Erfindung wird mindestens eine erste Brennstrecke mit einer von zwei Anschlußleiterbahnen verbunden, die an die beiden Enden der Widerstandsbahn geführt sind, und mindestens eine letzte
5 Brennstrecke mit einer herausgeführten Zusatz-Leiterbahn verbunden. Zum Auftrennen einer ausgewählten Brennstrecke wird diese erwärmt und der Stromimpuls zwischen Anschlußleiterbahn und herausgeführter Zusatz-Leiterbahn aufgeschaltet. Das Vorsehen einer zusätzlichen Leiterbahn für
10 die Impulsleitung von der Brennstrecke nach außen hat den Vorteil, daß die Spannung, die zur Aufrechterhaltung des Konstantstromimpulses erforderlich ist, deutlich abgesenkt wird.

15 Zeichnung

Die Erfindung ist anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen in schematischer Darstellung:

20

Fig. 1 einen Temperatursensor zum Messen der Abgastemperatur in Explosionsdarstellung in Verbindung mit einer Vorrichtung zum Abgleichen des Meßwiderstands,

25

Fig. 2 eine Draufsicht des Meßwiderstands im Temperatursensor gemäß Fig. 1 vergrößert dargestellt,

30

Fig. 3 eine vergrößerte Darstellung des Ausschnitts III in Fig. 2,

Fig. 4 ausschnittsweise eine Draufsicht des
Temperatursensors in Fig. 1 bei entfernter
Deckschicht,

5 Fig. 5 eine gleiche Darstellung wie in Fig. 4 mit
einer Modifizierung des Temperatursensors,

10 Fig. 6 eine Explosionsdarstellung eines
Temperatursensors gemäß einem weiteren
Ausführungsbeispiel in Verbindung mit einer
Vorrichtung zum Abgleichen des Meßwiderstands,

15 Fig. 7 eine Draufsicht des Meßwiderstands im
Temperatursensor gemäß Fig. 6, vergrößert
dargestellt,

20 Fig. 8 der zeitliche Verlauf von Strom und Spannung
an einer Brennstrecke beim Abgleichen des
Meßwiderstands in Fig. 1 bzw. 6.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Der in Fig. 1 in Explosionsdarstellung skizzierte
Temperatursensor oder Temperaturmeßfühler zur Messung der
25 Abgastemperatur von Brennkraftmaschinen als
Ausführungsbeispiel für einen allgemeinen Gasmeßfühler weist
einen Träger 10, der z.B. aus einer Keramikfolie auf
Festelektrolytbasis, beispielsweise aus Zirkoniumoxid (ZrO_2)
bestehen kann, und eine Deckschicht 11 auf, die ebenfalls
30 eine Keramikfolie auf Festelektrolytbasis sein kann. Zwischen
Träger 10 und Deckschicht 11 ist ein Meßwiderstand in Form
einer Widerstandsbahn 12 aus PCT-Widerstandsmaterial

angeordnet, der eine Mäanderstruktur mit einer Vielzahl von Mäanderschleifen oder Mäanderwindungen 121 (Fig. 2) aufweist und im sog. "heißen", dem Abgas ausgesetzten Bereich des Sensorelements liegt. Von den beiden Enden der

5 Widerstandsbahn 12 erstrecken sich zwei parallele Anschlußleiterbahnen 13, 14 bis in den "kalten", nicht dem Abgas ausgesetzten Bereich des Sensorelements. Dort sind auf die Unterseite des Trägers 10 zwei elektrische Kontaktflächen 15, 16 aufgedruckt, von denen die Kontaktfläche 15 durch den
10 Träger 10 hindurch mit der Anschlußleiterbahn 13 und die Kontaktfläche durch den Träger 10 hindurch mit der Anschlußleiterbahn 14 verbunden ist. Die Kontaktflächen 15, 16 dienen im Betrieb des Temperaturmeßfühlers zur Zuführung des Meßstroms. Die Widerstandsbahn 12 einschließlich der
15 beiden Anschlußleiterbahnen 13, 14 sind in eine elektrischen Isolierung, z.B. aus Al_2O_3 , eingebettet, wozu auf die Oberseite des Trägers 10 eine untere Isolierschicht 17 und auf die Unterseite der Deckschicht 11 eine obere Isolierschicht, die in Fig. 1 nicht zu sehen ist, aufgedruckt
20 ist. Die Widerstandsbahn 12 mit den Anschlußleiterbahnen 13, 14 sind auf die untere Isolierschicht 17, z.B. im Siebdruckverfahren, aufgedruckt. Träger 10 und Deckschicht 11 liegen aufeinander und sind zusammenlaminiert.

25 Bei der Fertigung des Sensorelements wird die Geometrie der Widerstandsbahn 12 so gestaltet, daß der gemessene Kaltwiderstand kleiner ist als ein geforderter Vorgabewert des elektrischen Widerstands. In einem Abgleichprozeß wird nunmehr der elektrische Widerstand der Widerstandsbahn 19 so
30 vergrößert, daß er in extrem engen Toleranzgrenzen dem Vorgabewert entspricht.

Die Widerstandsbahn 19 ist in Fig. 2 in Draufsicht vergrößert dargestellt. Sie besitzt eine Vielzahl von Mäanderwindungen 121, die zwischen den Anschlußleiterbahnen 13, 14 hintereinander geschaltet sind. Ein Teil der Mäanderwindungen 121 auf der linken und rechten Seite des in Fig. 2 zu sehenden Layout der Widerstandsbahn 12, im Ausführungsbeispiel insgesamt acht Mäanderwindungen 121, sind jeweils mit einer Brennstrecke 18 so überbrückt, daß die gesamte Mäanderwindung 121 der Brennstrecke 18 parallelgeschaltet ist. Die nebeneinanderliegenden, jeweils von einer Brennstrecke 18 überbrückten Mäanderwindungen 121 sind in ihrem Widerstandswert, z.B. binär, abgestuft, so daß bei Aufbrennen einer ausgewählten Brennstrecke 18 der Widerstand der Widerstandsbahn 12 um einen bestimmten Widerstandswert, nämlich den der nunmehr in Reihe geschalteten Mäanderwindung 121, definiert vergrößert wird.

Das Aufbrennen der Brennstrecke 18 zum Abgleich, Trimmen oder Kalibrieren der Widerstandsbahn 12 erfolgt durch energiekontrollierte Stromimpulse, die durch ausgewählte Brennstrecken 18 hindurchgeschickt werden. Die Stromimpulse sind Konstantstromimpulse, deren Impulsdauer gesteuert wird.

Um die Stromimpulse an die Brennstrecken 18 führen zu können, werden bei der Fertigung des Sensorelements an die Verbindungsstellen von Mäanderwindung 121 und Brennstrecken 18 Leiterbahnen 19 geführt, die bis in den Kaltbereich des Sensorelements reichen und dort kontaktiert werden können. In dem in Fig. 2 vergrößert dargestellten Ausführungsbeispiel der Widerstandsbahn 12 mit insgesamt acht Brennstrecken 18 sind insgesamt acht Leiterbahnen 19 erforderlich, die zwischen den beiden Anschlußleiterbahnen 13, 14 für die

Widerstandsbahn 12 verlaufen. Zum Umschalten eines Stromimpulses auf die beiden äußersten Brennstrecken 18 werden auch die beiden Anschlußleiterbahnen 13, 14 herangezogen. Für die Kontaktierung der Leiterbahnen 19 ist in dem "kalten" Bereich des Sensorelements eine Aussparung 20 in der Deckschicht 11 und der darunterliegenden oberen Isolierschicht vorgesehen, die nach Abschluß des Abgleichprozesses ggf. verschlossen wird. Wie Fig. 4 zeigt sind in dem von der Aussparung 20 freigegebenen Bereich der Leiterbahnen 19 Kontaktierungsflächen 21 angeordnete, von denen jeweils eine mit einer Leiterbahn 19 verbunden ist. Wie am deutlichsten in Fig. 3 zu erkennen ist, sind die Brennstrecken 18, die aus dem gleichen Material wie die Widerstandsbahn 12 gefertigt sind, z.B. aus Platin, mit einer sehr viel kleineren Breite gegenüber der Widerstandsbahn 12 ausgeführt. Beispielsweise beträgt die Breite einer Mäanderwindung 121 30 - 40µm und die Breite einer Brennstrecke 18 15 - 20µm. Durch die wesentlich größere Länge einer Mäanderwindung 121 ist diese sehr viel hochohmiger als die Brennstrecke 18. Außerdem sind die Brennstrecken 18 tailliert, so daß sie mittig wesentlich dünner sind. Die Leiterbahnen 19 sind wesentlich breiter ausgeführt als die Brennstrecken 18, im Ausführungsbeispiel beispielsweise mit ca. 60µm.

Der elektrische Widerstand der Widerstandsbahn 12 des so vorbereiteten, endgefertigten und gesinterten Sensorelements wird in einem dem Fertigungsprozeß nachgeschalteten Abgleich- oder Trimmprozeß wie folgt an den höheren Vorgabewert angeglichen:

Der Widerstandswert der kalten Widerstandsbahn 12 wird gemessen und anhand der Widerstandsdifferenz zu dem Vorgabewert diejenigen Brennstrecken 18 festgelegt, die aufgetrennt werden müssen, um den geforderten Widerstandswert zu erreichen. Da die gestuften Widerstandswerte der Mäanderwindungen 121 im Layout der mäanderförmigen Widerstandsbahn 12 bekannt sind, können die erforderlichen Brennstrecken 18 problemlos festgestellt werden. Die festgelegten Brennstrecken 18 werden nacheinander durch Anlegen eines Konstantstromimpulses aufgebrannt. Hierzu ist eine Abgleichelektronik 22 vorgesehen, die - wie hier nicht weiter dargestellt ist - eine Konstantstromquelle, einen Schaltthyristor und eine Steuerelektronik zum Ein- und Abschalten des Schaltthyristors aufweist. Zur Erzeugung des die ausgewählte Brennstrecke 18 aufbrennenden Konstantstromimpulses werden die beiden zu der ausgewählten Brennstrecke 18 führenden Leiterbahnen 19 durch die Aussparung 20 hindurch kontaktiert und an die Abgleichelektronik 22 angeschlossen. Mit Aufsteuern des Schaltthyristors wird die Konstantstromquelle an die Brennstrecke 18 angeschlossen. Sobald die Brennstrecke 18 aufgeschmolzen ist, bewirkt der Schaltthyristor eine sofortige Trennung der Konstantstromquelle von den Leiterbahnen 19. Der während des Schließens des Schaltthyristors und nach dem Wiederöffnen des Schaltthyristors auftretende Strom- und Spannungsverlauf an der Brennstrecke 18 ist im Diagramm der Fig. 8 dargestellt, wobei die durchgezogene Linie den Stromverlauf $I(t)$ und die gestrichelte Linie den Spannungsverlauf $U(t)$ über der Zeit t darstellt. Die Steuerung der Impulsdauer des Konstantstromimpulses erfolgt derart, daß die an der Brennstrecke 18 abfallende Spannung U mit Beginn des

Durchsteuern des Schaltthyristors überwacht wird. An der
Brennstrecke 18 steigt die Spannung zunächst linear und dann
beim Aufbrennen der Brennstrecke 18 infolge des Lastwechsels
exponentiell an, was dazu genutzt wird, den Schaltthyristor
5 zu sperren. Der Schaltthyristor, der eine sehr hohe
Abschaltempfindlichkeit, z.B. 1,5V/100nsek., aufweist trennt
die Konstantstromquelle von den Leiterbahnen 19, so daß der
Stromimpuls auf Null abfällt. Durch diese Steuerung der
Impulsdauer hat der Stromimpuls nur eine solche Energie, die
10 zum Aufschmelzen der taillierten Brennstrecke 18 ausreicht,
nicht aber die parallelgeschaltete Mäanderwindung 121
beschädigt oder deren Widerstand verändert. Das aus der
Brennstrecke 18 ausgeschmolzene Material wird in einem hier
nicht zu sehenden Hohlraum in der Deckschicht 11 bzw. in der
15 auf diese aufgedruckte Isolationsschicht aufgenommen. Der
Hohlraum wird bei der Fertigung des Sensorelement durch das
Überdrucken der Brennstrecke 18 mit kohlenstoffhaltiger
Siebdruckpaste hergestellt, die dann durch das Sintern des
Sensorelements vollständig oxidiert und in die Gasphase
20 übergeht.

Der beschriebene Abgleichvorgang läßt sich sowohl bei
bekannter Raumtemperatur als auch bekannter Hochtemperatur
oder in einem flüssigen Medium durchführen, da der gesamte
25 Bereich der Widerstandsbahn 12 hermetisch dicht ist. Zur
Erzielung einer höheren Thermoschockresistenz sowie
geringeren Stromdichten bei hochohmigeren Brennstrecken 18
ist es vorteilhaft, das Abgleichen der Widerstandsbahn 12 bei
höheren Temperaturen durch Eigen- oder Fremdbeheizung
30 vorzunehmen.

Will man die Aussparung 20 in der Deckschicht 11 für die Kontaktierung der Leiterbahnen 19 vermeiden, die zur Verhinderung von der Kennlinie des Sensorelements beeinflussenden Ablagerungen auf den Kontaktierungsflächen 21 (z.B. elektrisch leitfähigem Ruß) mit isolierendem, gasdurchlässigem Material verschlossen wird, so werden - wie dies in Fig. 5 skizziert ist - bei der Fertigung des Sensorelements die Leiterbahnen 19 bis in einen hinter dem Ende der Anschlußleiterbahnen 13, 14 liegenden Bereich des Trägers 10 geführt, der nicht von der Deckschicht 11 überdeckt ist. In diesem Bereich ist wiederum jede Leiterbahn 19 mit einer Kontaktierungsfläche 21 verbunden. Nach dem Trimmen des Sensorelements, also dem Abgleich des elektrischen Widerstands der Widerstandsbahn 12 auf den erforderlichen Vorgabewert, wird der nicht von der Deckschicht 11 überdeckte Bereich des Trägers 10 einschließlich der Leiterbahnenenden und Kontaktierungsflächen 21 abgetrennt.

Eine Abwandlung des beschriebenen Abgleichverfahrens läßt die Notwendigkeit, an alle Brennstrecken 18 eine Leiterbahn 19 zu führen, entfallen. Von den bei der Fertigung des Sensorelements an die Widerstandsbahn 12 angebrachten, die entsprechenden Mäanderwindungen 121 überbrückenden Brennstrecken 18 werden die beiden ersten Brennstrecken 18, die links und rechts des Mäanders je einer Mäanderwindung 121 parallelgeschaltet sind (Fig. 7) mit je einer der Anschlußleiterbahnen 13, 14 der Widerstandsbahn 12 verbunden. Im Abgleichprozeß wird nunmehr die Abgleichelektronik 22 an die beiden Kontaktflächen 15, 16 der Anschlußleiterbahnen 13, 14 angeschlossen, wie dies in Fig. 6 dargestellt ist. Sind nach Messen des Widerstandswerts der Widerstandsbahn 12 des

endgefertigten Sensorelements die entsprechenden
Brennstrecken 18 festgelegt, die aufgetrennt werden müssen,
um den Vorgabewert der Widerstandsbahn 12 zu erreichen, so
wird von der Abgleichelektronik 22 ein wie vorstehend
5 beschriebener Konstantstromimpuls auf die beiden
Anschlußleiterbahnen 13, 14 aufgeschaltet. Vor Aufschaltung
des Stromimpulses wird aber diejenige Brennstrecke 18, die
aufgetrennt werden soll, mittels eines Laserimpulses lokal
erwärmt. Der Laserimpuls wird von einem Laser 23 im
10 Infrarotbereich mit einer Wellenlänge $\lambda < 2,5\mu\text{m}$ erzeugt. Der
Laserimpuls wird durch den Träger 10 und durch die untere
Isolierschicht 17 hindurch auf die ausgewählte Brennstrecke
18 gerichtet, damit eine gute Ankopplung an der
Isolierschicht 17 vorliegt. Eine Einbringung des
15 Laserimpulses durch die Deckschicht 11 hindurch ist
unvorteilhaft, da hier der über den Brennstrecken 18
eingebrachte Hohlraum in der Deckschicht 11 und der
darunterliegenden Isolierschicht vorhanden ist. Aufgrund der
Laser-Erwärmung erhöht sich der spezifische Widerstand der
20 Brennstrecke 18 gegenüber den anderen Brennstrecken 18, z.B.
um dem Faktor zwei. Der nunmehr durch die Widerstandsbahn 12
geschickte Konstantstromimpuls verstärkt mit seiner Energie
die lokale Erwärmung, so daß die in die bestrahlte
Brennstrecke 18 vom Stromimpuls eingetragene Leistung um z.B.
25 den Faktor zwei größer ist als bei den übrigen Brennstrecken
18. Dadurch kommt eine weitere Erwärmung in Gang, die bis zum
Aufschmelzen der erwärmten Brennstrecke 18 führt. Die
Brennstrecken 18 werden in Länge, Breite und Höhe so
dimensioniert, daß ein um ca. 50% höherer Energieumsatz
30 stattfindet als in der zur Brennstrecke 18 in Reihe bzw.
parallelgeschalteten Mäanderwindung 121.

Da bei einem hohen Widerstand der Widerstandsbahn 12 zur Aufrechterhaltung des Konstantstromimpulses eine recht hohe Abgleichspannung von der Abgleichelektronik 22 aufzubringen ist, werden ein oder zwei zusätzliche Leiterbahnen 24, 25 an die Brennstrecken 18 geführt, wie dies in Fig. 7 dargestellt ist. Von den insgesamt vier Mäanderwindungen 121, die im Außenbereich auf der linken und rechten Seite der Widerstandsbahn 12 mittels einer Brennstrecke 18 überbrückt sind, ist die erste Brennstrecke 18 nach wie vor mit der Anschlußleiterbahn 13 bzw. 14 verbunden. An die letzte der hintereinanderliegenden Brennstrecken 18 ist die Zusatz-Leiterbahn 24 bzw. 25 geführt. Die Abgleichelektronik 22 wird nunmehr an die Anschlußleiterbahn 13 bzw. 14 und an die Zusatz-Leiterbahn 24 bzw. 25 angeschlossen. Die Zusatz-Leiterbahnen 24, 25 werden in gleicher Weise kontaktiert, wie dies mit Bezug auf Fig. 4 und 5 für die Leiterbahnen 19 beschrieben worden ist. Nach lokaler Erwärmung der ausgewählten Brennstrecke 18 wird der Stromimpuls über die Anschlußleitung 13 bzw. 14, durch einen Teil der Widerstandsbahn 12 und über die Zusatz-Leiterbahn 24 bzw. 25 geschickt und die erwärmte Brennstrecke 18 wird aufgetrennt. Da der Gesamtwiderstand der im Ausführungsbeispiel vier parallel bzw. in Reihe geschalteten Mäanderwindungen 121 wesentlich kleiner ist als der Gesamtwiderstand der Widerstandsbahn 12 ist eine deutlich geringere Abgleichspannung beim Anlegen der Stromimpulse erforderlich.

Grundsätzlich ist eine einzige Zusatz-Leiterbahn 24 ausreichend, wenn die Brennstrecken 18 so angeordnet werden, daß die letzte aller Brennstrecken 18 an die einzige Zusatz-Leiterbahn 24 angeschlossen ist. Die beiden zusätzlichen

Leiterbahnen 24, 25 sind bei dem in Fig. 7 gezeigten symmetrischen Layout der Widerstandsbahn 12 von Vorteil.

Die beschriebenen Abgleichverfahren sind nicht auf das
5 beispielhaft beschriebene Abgleichen des Meßwiderstands eines
Temperaturmeßfühlers beschränkt. Es kann ebensogut zum
Abgleich des elektrischen Widerstandsheizers einer Sonde zur
Bestimmung der Konzentration einer Gaskomponente in einem
Meßgas, z.B. der Sauerstoff- oder Stickoxidkonzentration im
10 Abgas von Brennkraftmaschinen, herangezogen werden, bei denen
eine mäanderförmige Widerstandsbahn niederohmig ausgelegt
ist. Darüber hinaus kann das Verfahren auch bei Multilayer-
Hybridschaltungen eingesetzt werden, da auch hier
Abgleichwiderstände zwischen den Schichten angeordnet sind.

19.12.2002

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5

Ansprüche

- 10 1. Verfahren zum Abgleichen des elektrischen Widerstands
einer zwischen zwei Schichten (10, 11) angeordneten, in
Mäanderwindungen (121) verlaufenden Widerstandsbahn (12)
auf einen Vorgabewert, bei dem die Widerstandsbahn (12)
mit einem auf den Vorgabewert bezogen kleineren
15 Widerstand und mit Mäanderwindungen (121) überbrückenden
Brennstrecken (18) gefertigt und das Abgleichen durch
Auftrennen ausgewählter Brennstrecken (18) vorgenommen
wird, dadurch gekennzeichnet, daß zum Auftrennen der
Brennstrecken (18) energiekontrollierte Stromimpulse
20 durch die Brennstrecken (18) geschickt werden.
- 25 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
die Brennstrecken (18) so angeordnet werden, daß
zumindest bei einem Teil der Mäanderwindungen (121)
jeder Mäanderwindung (121) eine Brennstrecke (18)
parallelgeschaltet ist.
- 30 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß
eine der Brennstrecken (18) mit einer von zwei an die
beiden Enden der Widerstandsbahn (12) geführten
Anschlußleiterbahnen (13, 14) verbunden wird und daß zum
Auftrennen einer ausgewählten Brennstrecke (18) die

ausgewählte Brennstrecke (18) erwärmt und der Stromimpuls auf die Anschlußleiterbahnen (13, 14) der Widerstandsbahn (12) aufgeschaltet wird.

- 5 4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine erste Brennstrecke (18) mit einer von zwei an die beiden Enden der Widerstandsbahn (12) geführten Anschlußleiterbahnen (13, 14) und mindestens eine letzte Brennstrecke (18) mit einer Zusatz-Leiterbahn (24, 25) verbunden wird und daß zum Auftrennen der ausgewählten Brennstrecke (18) diese erwärmt und der Stromimpuls zwischen Anschlußleiterbahn (13, 14) und Zusatz-Leiterbahn (24, 25) aufgeschaltet wird.

15

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Erwärmung der Brennstrecke (18) mit einem Laserimpuls durch eine der die Widerstandsbahn (12) abdeckenden Schichten (10) hindurch vorgenommen wird.

20

6. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß an die Verbindungsstellen der Brennstrecken (18) mit den Mäanderwindungen (121) Leiterbahnen (19) geführt werden und daß zum Auftrennen einer Brennstrecke (18) der Stromimpuls auf die an die ausgewählte Brennstrecke (18) führenden beiden Leiterbahnen (19) aufgeschaltet wird.

25

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 6, dadurch gekennzeichnet, daß als Stromimpulse Konstantstromimpulse verwendet werden und daß deren Impulsdauer gesteuert wird.

30

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die an der ausgewählten Brennstrecke (18) abfallende Spannung überwacht und bei Detektion eines überproportionalen Spannungsanstiegs der Stromimpuls abgeschaltet wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 - 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufschaltung eines Stromimpulses mittels eines elektronischen Schalters vorgenommen wird, der eine Konstantstromquelle für die Impulsdauer an die Leiterbahnen (19; 24, 25) und/oder Anschlußleiterbahnen (13, 14) anschließt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 - 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Kontaktierung der Leiterbahnen (19) durch eine Aussparung (20) hindurch vorgenommen wird, die in eine der die Widerstandsbahn (12) abdeckenden Schichten (11) eingearbeitet ist.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 - 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiterbahnen (19) mit ihren Bahnenden bis in einen hinter dem Ende der Anschlußleiterbahnen (13, 14) liegenden Bereich geführt werden, in dem sie nur einseitig von einer Schicht (10) abgedeckt sind, und daß dieser Bereich nach dem Abgleichen der Widerstandsbahn (12) abgetrennt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennstrecken (18) wesentlich schmaler als die Mäanderwindungen (121) der Widerstandsbahn (12) und als die Leiterbahnen (19; 24, 25) ausgeführt werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennstrecken (18) tailliert ausgeführt werden.

- 5 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 13, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich der Brennstrecken (18) in einer der die Widerstandsbahn (12) abdeckenden Schichten (11) ein Hohlraum ausgebildet wird.

19.12.2002

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5

Verfahren zum Abgleichen des elektrischen Widerstands einer
Widerstandsbahn

Zusammenfassung

Es wird ein Verfahren zum Abgleichen des elektrischen
15 Widerstands einer zwischen zwei Schichten (10, 11)
angeordneten, in Mäanderwindungen (121) verlaufenden,
elektrischen Widerstandsbahn (12) auf einen Vorgabewert
angegeben, bei dem die Widerstandsbahn (12) mit einem bezogen
auf den Vorgabewert kleineren Widerstand und mit
20 Mäanderwindungen (121) überbrückenden Brennstrecken (18)
gefertigt und das Abgleichen durch Auftrennen ausgewählter
Brennstrecken (18) vorgenommen wird. Zur Erzielung eines
einfachen Abgleichverfahrens werden zum Auftrennen der
Brennstrecke (18) Konstantstromimpulse mit gesteuerter
25 Impulsdauer durch die Brennstrecken (18) geschickt (Fig. 2).

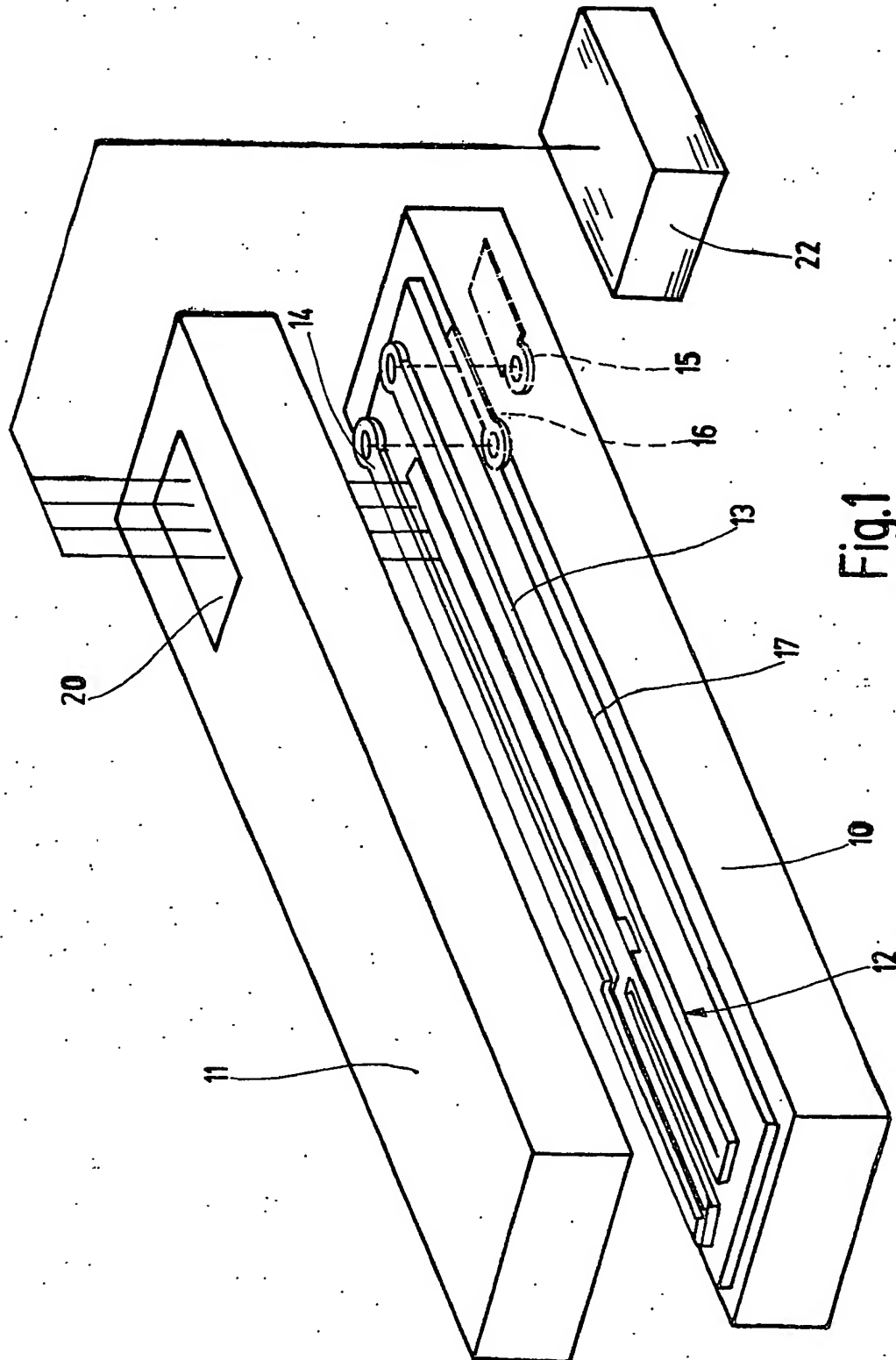


Fig.1

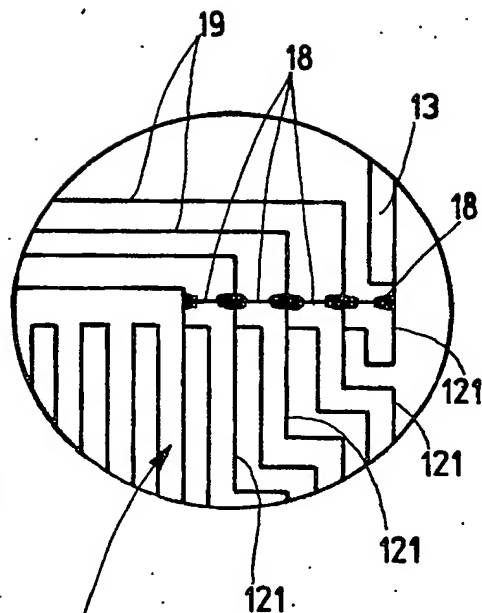
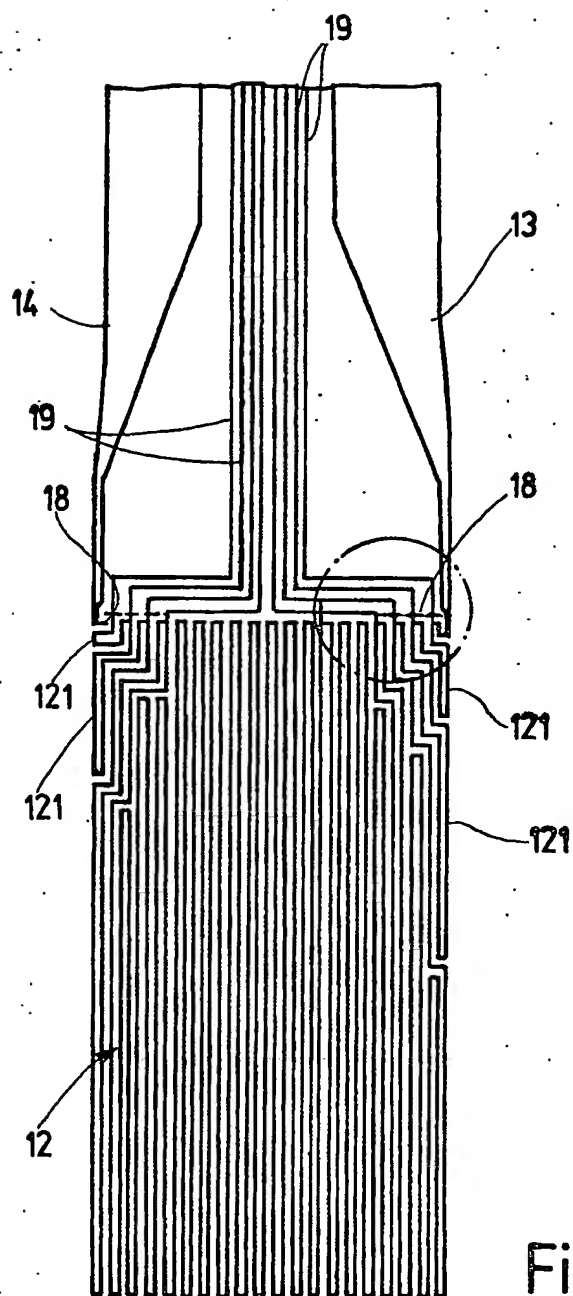
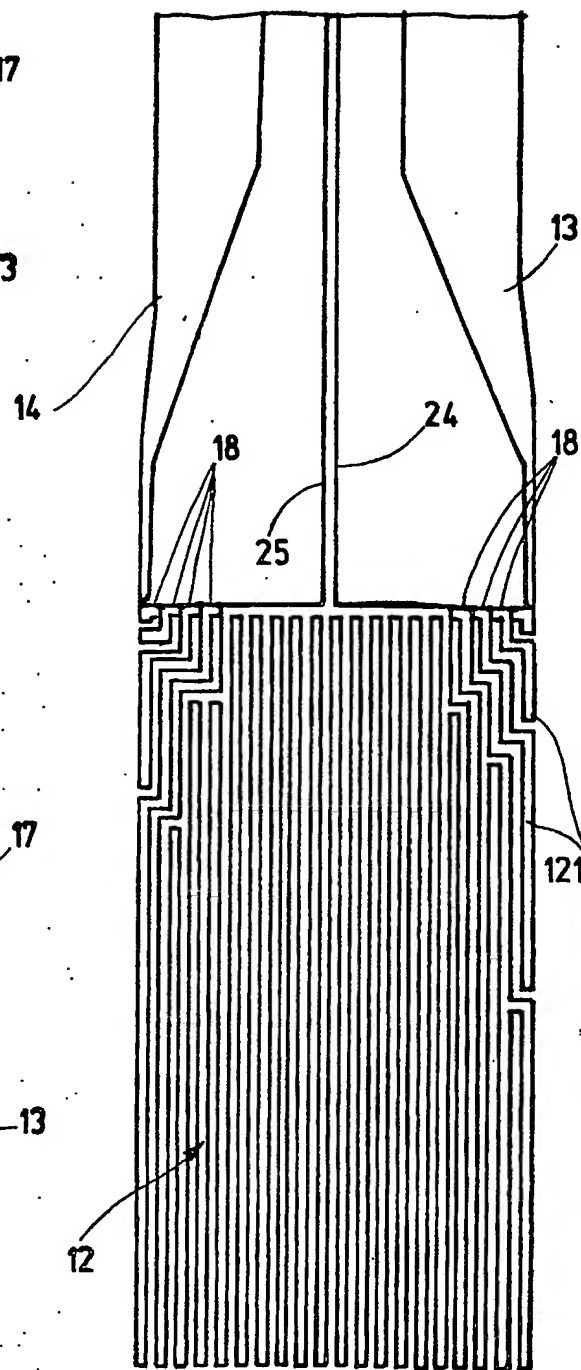
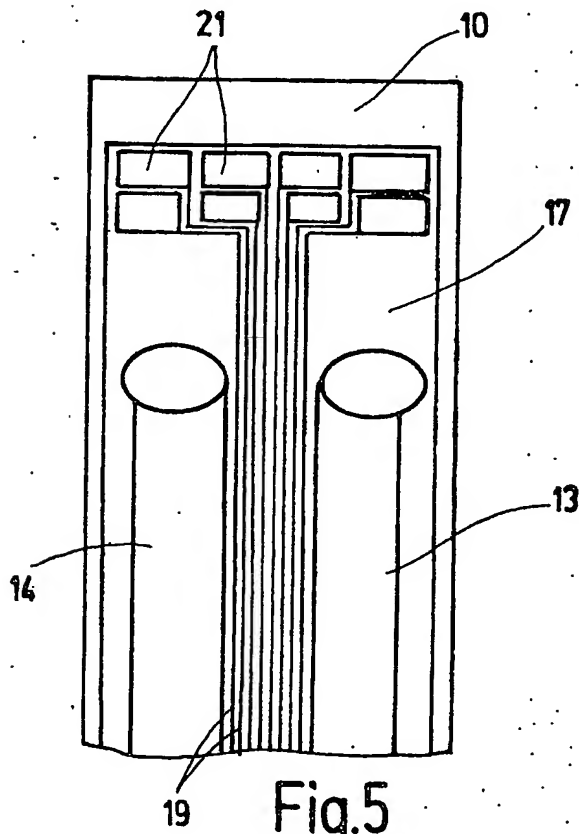
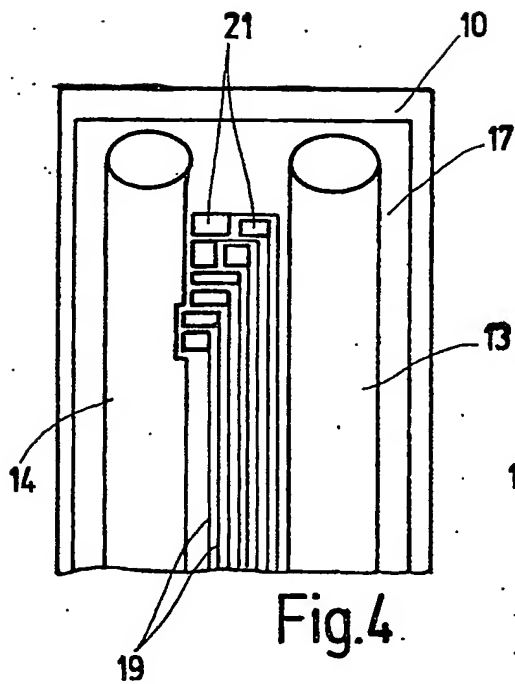
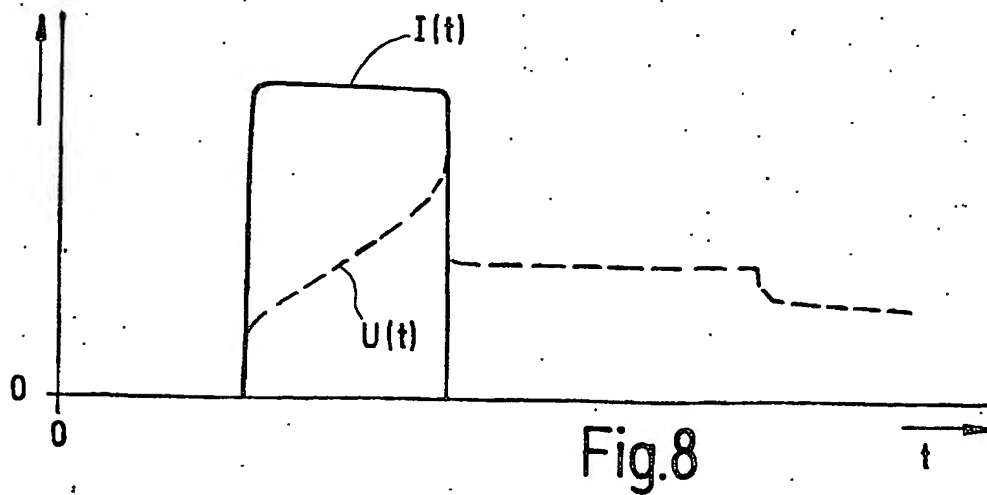
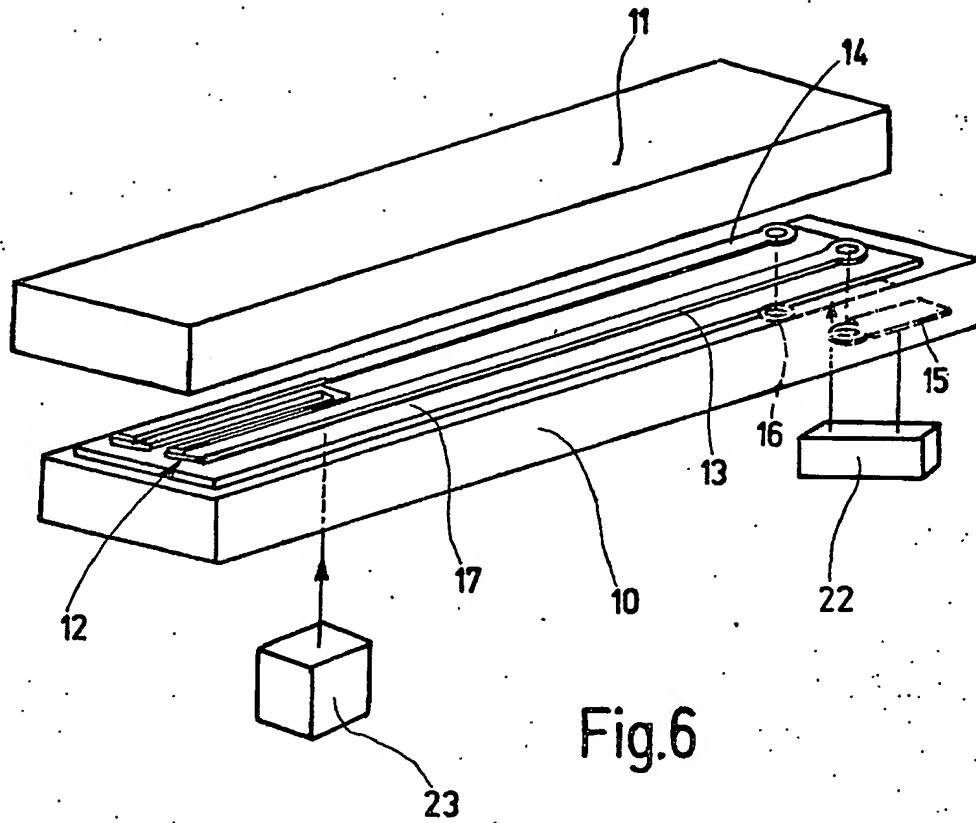


Fig. 3

Fig. 2





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.